



TITLE:

Interplay of Superconductivity and Spin
Texture: application to spintronics and
topological states(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

Takashima, Rina

CITATION:

Takashima, Rina. Interplay of Superconductivity and Spin Texture: application to spintronics and topological states. 京都大学, 2018, 博士(理学)

ISSUE DATE:

2018-03-26

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k20894>

RIGHT:

許諾条件により本文は2018-04-01に公開

(続紙 1)

| | | | |
|--|--|----|-------|
| 京都大学 | 博 士（理 学） | 氏名 | 高嶋 梨菜 |
| 論文題目 | Interplay of Superconductivity and Spin Texture: application to spintronics and topological states（超伝導とスピントロニクスとの協奏：スピントロニクスとトポロジカル状態への応用） | | |
| (論文内容の要旨) | | | |
| <p>超伝導と磁性が絡み合って生じる物理は古くから研究が行われてきたが、近年新しい観点から研究が行われ、更なる注目を集めている。一つは超伝導をスピントロニクスに応用する試みである。磁性体と超伝導体を接合させることで、特異な応答や磁気モーメントのダイナミクスを実現し、新しいデバイスへの応用を目指すものである。さらにトポロジカル超伝導の実現においても、磁性は重要な役割を果たしうる。スピントロニクスを用いることで超伝導準粒子の波動関数のトポロジーを変え、非自明な性質や応答を与える超伝導状態が実現できる。このような背景の下、本論文では超伝導とスピントロニクスが関わりあって生じる量子現象を、スピントロニクス応用やトポロジカル現象探索の観点から調べた。本論文は、[1]超伝導電流の与えるスピントルクの微視的な理解、[2]カイラル磁性体を用いたワイル超伝導状態の実現提案、[3]超伝導電流で誘起する非共線的な磁気秩序、[4]磁気スキルミオンへの量子効果、の四つの部分からなる。以下、項目に分けて記述する。</p> <p>[1]スピン移行トルクは、電流によって誘起されるスピントルクの一種であり、磁気メモリへの応用の点からも精力的に研究されてきた。先行研究より、超伝導体と磁性体を接合した系でも、このようなトルクが存在することは知られているが、現象論による研究が主であった。そこで本研究では、スピン三重項（トリプレット）の超伝導相関がスピン移行トルクにどのような影響を与えるかを微視的な計算により明らかにした。その結果、トリプレットの秩序変数に依存したスピントルクが実現することを示した。さらに、トルクによって誘起される磁壁のダイナミクスを解析し、スピントロニクスにおける応用提案を行った。</p> <p>[2]カイラル磁性体は鏡映対称性を破る磁性体であり、スピン軌道相互作用の効果が加わることで、ヘリカル構造やスキルミオン結晶などを実現する。本研究では、カイラル磁性体中に近接効果誘起の超伝導相関がある場合、ワイル準粒子構造（準粒子波動関数のもつ波数空間で定義されたトポロジカル構造。）が実現できることを示した。また、スピン軌道相互作用の大きさに依存して、ワイルコーンの傾きが変化する事や、磁気モーメントとの結合を明らかにした。</p> <p>[3]非共線的な磁気構造は、超伝導接合系の物理で重要な効果をもたらす。トポロジカル超伝導の起源となること、シングレット超伝導体からトリプレットのクーパ対を実現できることなどが知られている。そのような背景の下、本研究では近接効果誘起の超伝導がある相関金属中で磁気秩序を誘起・制御できる方法を提案した。このとき、磁性の誘起・制御特には、超伝導波動関数の位相の空間変化である超伝導電流を用いる。平均場の範囲内で磁気相図を導出し、超伝導電流によって常磁性相と非共線的な磁気秩序相（ヘリカル構造やボルテックス構造）の間の相転移が生じることを明らかにした。</p> <p>[4]渦状のトポロジカル磁気構造スキルミオンは、その安定性や独特のダイナミクス、ホール効果の誘起などから注目を集めている。またスキルミオンを用いて、二次元のトポロジカル超伝導状態を実現できることも指摘されている。本研究では、スキルミオンへの量子効果を調べ、従来から知られている古典的なスキルミオン結晶相に加えて、スキルミオンの量子液体相が実現しうることを示した。</p> | | | |

(論文審査の結果の要旨)

超伝導のスピン트로ニクス応用とトポロジカル超伝導体は、近年注目を集めている重要なテーマである。これらのテーマにおいて、スピンの実空間構造であるスピントクスチャは特に重要な役割を果たし、豊かな物理を与えることが期待されている。このような背景の下、高嶋氏は以下の四つの側面から、超伝導とスピントクスチャが絡み合っている量子現象を調べた。[1]超伝導電流の与えるスピントルクの微視的な理解、[2]カイラル磁性体を用いたワイル超伝導状態の実現提案、[3]超伝導電流で誘起する非共線的な磁気秩序、[4]磁気スキルミオンへの量子効果。以下、項目に分けて記述する。

[1]では、近年実験で実現されている磁性体中のスピン三重項クーパ対の近接効果に着目し、トリプレットクーパ対が磁性体中の磁気モーメントにどのように作用するか、解析計算を用いて明らかにした。トリプレットの秩序変数に依存した特有のスピントルクが実現することを示し、正常電流誘起のトルクとの比較を行った。トルクによって誘起される磁壁のダイナミクスを解析し、スピン트로ニクスにおける応用提案を行った。

[2]では、空間反転対称性の破れた磁性体に着目し、ワイル準粒子構造の実現・制御について明らかにした。スピン軌道相互作用の大きさに依存して、ワイルコーンの傾きが変化する事や、磁気モーメントとどのように結合するかを明らかにした。得られた相図や有効ハミルトニアンなどの結果は、ワイル準粒子の与える輸送・応答現象を探索する上で重要な指針となると考えられる。

[3]では、超伝導と非共線的な磁気構造が共存することで生じる豊かな接合系の物理に着目し、超伝導電流で磁気秩序を誘起・制御する方法を提案した。非共線的な磁気構造は、トポロジカル超伝導の実現やクーパ対のスピン変換で重要な役割を担うが、超伝導があるもとでのその制御法は明らかにされていなかった。本論文では、超伝導電流により変調をもった磁気秩序の不安定性が増すことを数値的・解析的に示し、平均場近似の範囲内で磁気秩序が誘起されることを明らかにした。これらの結果は、トポロジカル超伝導やクーパ対のスピン変換の実現や制御に有用であると考えられる。

[4]では、渦状のトポロジカル磁気構造スキルミオンの量子効果を調べた。有効作用を導出し、従来知られている古典的なスキルミオン結晶相に加えて、スキルミオンの量子液体相が実現しうることを示した。さらに、スキルミオンのトポロジカル数とスピンの大きさを反映した臨界理論や準粒子励起構造を明らかにした。このような臨界現象の性質は新しく、明らかとなった準粒子励起構造は実験的にスキルミオンの与える新規量子相を探索する際に有用であるといえる。

超伝導電流の与える磁気モーメントへの影響や磁気不安定性との関係を微視的に解明した点は新しく、超伝導を用いたスピン트로ニクスや磁性を用いたトポロジカル超伝導の研究において、重要な意義をもつ。磁性体中のワイル準粒子状態の解析は、今後、新奇の輸送・応答現象を探索する上でも重要な意味をもつ。さらに、磁気テクスチャへの量子効果を調べることで、当該分野の今後の新しい方向性を提案した。よって、本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成29年12月26日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公表可能日： 年 月 日以降